

В.И. Болобов, В.С. Бочков, С.А. Чупин, С.Ю. Степанов ЗАВИСИМОСТЬ АБРАЗИВНЫХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД ОТ ИХ КРЕПОСТИ

Рассмотрены апатито-нефелиновые руды с различной крепостью. Все эти руды также имеют различный минеральный состав, отдельные элементы которого отличаются по показателям твердости по шкале Мооса. Проведены испытания образцов изготовленных из стали 110Г13Л, как наиболее часто встречающегося материала быстро изнашиваемых элементов горного оборудования. Оценено влияние крепости руды на скорость износа образцов. Установлено, что крепость не является определяющим показателем интенсивности изнашивания металлических элементов оборудования применяемого в горной промышленности.

Ключевые слова: апатит, нефелин, крепость породы, сталь 110Г13Л, скорость изнашивания.

Введение

Широко распространено мнение, что крепость является одним из основных свойств, определяющим абразивность породы, т.е. способность разрушать контактирующие с породой твердые тела. Разделяя такую точку зрения, например, автор [1] заключает, что качественная связь между показателями абразивности и крепости описывается монотонно возрастающей кривой (пунктирная кривая на рис. 1). Хотя, как отмечает тот же автор, на абразивной способности породы, несомненно, сказываются и другие факторы – наличие более твердых, чем основная масса, минеральных включений (их количество, форма, размеры), особенности строения материала и пр.

Вместе с тем автор [2], экспериментальные данные которого анализируются в работе [1], не выделяет крепость в качестве основного свойства, определяющего способность породы изнашивать другие тела, и заключает, что ни одна из характеристик породы не определяет однозначно степень ее абразивности.

В этой связи представлял научный и практический интерес, на примере

какого-либо наиболее часто применяемого конструкционного материала горно-обогачительного оборудования сравнить абразивные свойства пород, состоящих примерно из одних и тех же породообразующих минералов, но существенно различающихся по крепости.

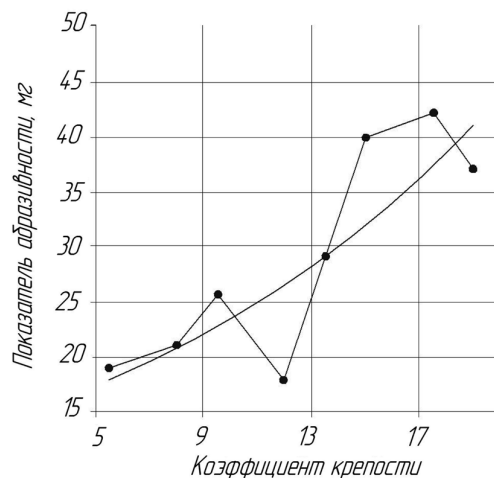


Рис. 1. Зависимость показателя абразивности от коэффициента крепости пород по Протодьяконову: ломаная линия – график, построенный в работе [2]; пунктир – предполагаемый характер зависимости по мнению [1]

Состав и физико-механические свойства анализируемых видов апатито-нефелиновой руды

№ породы	Состав руды, %	Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$, МПа	Крепость по М.М. Прото- дьяконову	Твердость по Шору
1	Апатит 35–40, нефелин 35–40, пироксен 10–15, титанит + циркон до 5	104	10	92–117
2	Апатит ~ 70, нефелин ~ 20, пироксен ~ 15, титанит + амфибол до 5	47	5	67–76
3	Апатит 90–100, нефелин до 7, пироксен + титанит + амфибол до 3	5	0,5	50–55

Примечание: твердость минералов по шкале Мооса: апатита – 5; титанита – 5,5; пироксена – 6; амфибола 6–6,5; нефелина – 6–7 [4].

В качестве таких абразивных пород использовали три вида нефелин-apatитовой руды Хибинского месторождения с различным соотношением составляющих ее минералов, что обеспечивало различие в механических свойствах породы.

Состав и структуру каждого вида руды определяли петрографическим анализом в проходящем свете с использованием поляризационного микроскопа Leica DM750 р. Крепость f по М.М. Прото-дьяконову выражали через предел прочности породы на сжатие ($f = \sigma_{сж}/10$), значение которого определяли экспериментально на механическом прессе ZDM 25/91 с максимальным усилием до 250 кН. Динамическую твердость по Шору устанавливали по методике в модификации Л.А. Шрейнера [3]. Результаты петрографического анализа и физико-механических испытаний представлены в таблице.

Как видно из представленных в таблице результатов, первый вид руды на 70–80% состоит из апатита и нефелина, входящих в породу в примерно равном соотношении. Он же обладает наивысшей крепостью ($f = 10$) и динамической твердостью по Шору (92–117). Третий вид – представляет собой практически чистый апатит. Крепость ($f = 0,5$) и твердость (50–55)

у данного вида руды минимальны. У второго вида руды, в структуре которой наряду с апатитом присутствует значительное количество нефелина и других минералов, величины крепости ($f = 5$) и твердости (67–76) занимают промежуточное положение между первой и второй породами.

Методика эксперимента

Испытания металлических образцов на эрозионный износ проводились по методике, близкой к методике Л.И. Барона – А.В. Кузнецова [2], разработанной для классификации горных пород по абразивности, имеющей по сравнению с [2] следующие отличия:

- образцы изготавливались из стали 110Г13Л, как основного материала быstroизнашивающихся элементов горного оборудования (футеровок шаровых мельниц, бил и шек дробилок, зубьев ковшей экскаваторов и др.), после закалки с 1100 °С в воде, что обеспечивало исходную твердость стали ~200 НВ;

- в экспериментах использовались сравнительно низкие нагрузки на образец (50 Н вместо 150 Н по [2]), что позволяло проводить сравнительные испытания по различным, в том числе и отличающимся низкой крепостью, породам;

- испытания проводились на образцах диаметром $D = 8$ мм с глухим

отверстием $d = 4$ мм, изготовленных из одной цилиндрической отливки стали;

- в процессе эксперимента периодически фиксировалась убыль массы металла, что позволяло изучать кинетику процесса изнашивания.

Испытания проводились с помощью устройства, собранного на основе вертикального сверлильного станка (рис. 2).

На рукояти 6 подачи шпинделя станка крепили груз 7, который обеспечивал постоянное прижатие образца к поверхности пластины руды с заданным усилием. Перед началом испытаний с использованием наполненных весов установку тарировали по усилию прижатия P , как функции от местоположения груза на рукояти подачи шпинделя станка. Испытания проводили по следующей схеме.

Пластину абразива 1, вырезанную из монолитного куска данного вида руды, с помощью прокладок 3 закрепляли в зажимном устройстве 2. В патроне 5 шпинделя станка закрепляли предварительно взвешенный на аналитических весах (точность взвешивания 0,1 мг) образец стали и прижимали с постоянным усилием P к поверхности рудной пластины. Включали электродвигатель 9 и в течение времени t проводили истирание образца об поверхность абразива. По окончании испытаний образец очищали от продуктов разрушения, повторно взвешивали и определяли убыль массы Δm .

При выбранной нагрузке ($P = 50$ Н) и продолжительности (1–2 мин) на одном и том же образце проводили серию из 5–7 испытаний. Перед каждым испытанием пластину руды сдвигали, что обеспечивало контакт образца с поверхностью абразива в новом месте. По результатам серии испытаний 2-х образцов строили график зависимости суммарной убыли массы образца ($\Sigma \Delta m$) от продолжительности

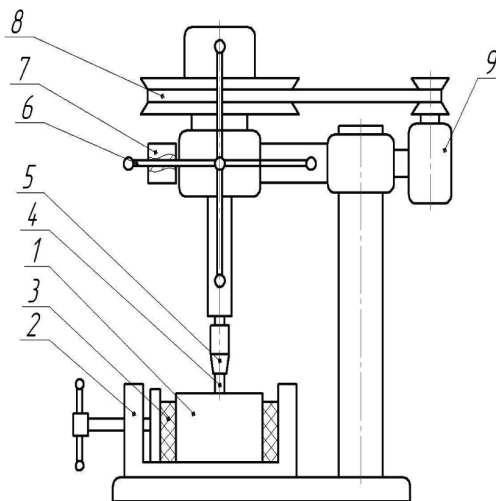


Рис. 2. Принципиальная схема устройства для истирания металлических материалов о горные породы: 1 – пластина абразива, 2 – зажимное устройство, 3 – фиксирующие прокладки, 4 – образец испытываемого материала, 5 – патрон для крепления образца, 6 – рукоятка подачи шпинделя станка, 7 – груз фиксированной массы, 8 – клиноременная передача, 9 – электродвигатель

испытаний t . Полученную экспериментальную зависимость аппроксимировали линией, тангенс угла наклона которой принимали за скорость износа испытываемого образца о данную породу, характеризующую абразивные свойства породы.

Результаты и обсуждение экспериментальных данных

Результаты эрозионных испытаний представлены на рис. 3.

Как видно из представленных данных (рис. 3), экспериментальные зависимости на каждом графике с достаточной точностью могут быть аппроксимированы прямыми вида $\Sigma \Delta m = Kt + b$, коэффициенты пропорциональности K которых для всех 3-х прямых практически совпадают: 1,55; 1,67 и 1,71 мг/мин. Это свидетельствует об одинаковой скорости разрушения всех испытанных образцов и, тем

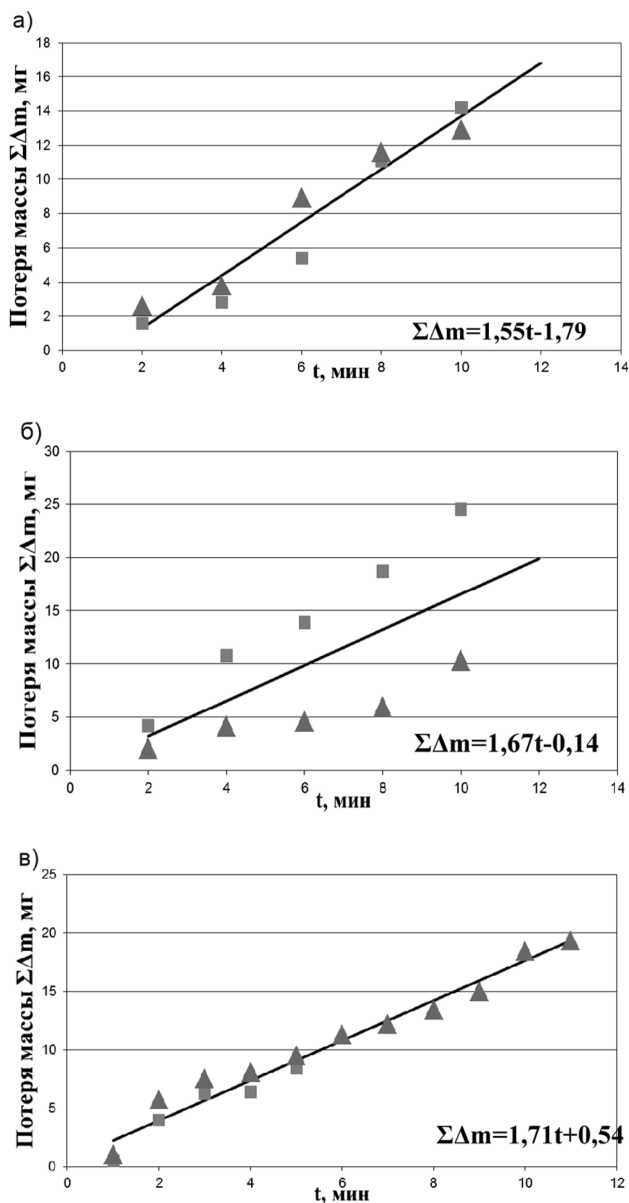


Рис. 3. Изменение убыли массы стальных образцов 1 (■) и 2 (▲) во времени в результате абразивного воздействия нефелино-апатитовой руды вида 1 (а), 2 (б), 3 (в)

самым, о близкой абразивной способности 3-х анализируемых пород. При этом обращает на себя внимание большой разброс в значениях Δm , по-

лученных для износа образцов по 2-ой породе.

Установленные закономерности могут иметь следующее объяснение.

В соответствии с приложением к таблице все основные минералы, составляющие анализируемые породы, имеют различную твердость, как по Моосу, так и по Шору, минимальная из которых у апатита, максимальная – у нефелина. Как можно заключить из сопоставления результатов эксперимента и петрографического анализа, влияние указанной разницы в твердости минералов на абразивную способность среды нивелируется особенностями структуры породы.

Так руда вида 1 представляет собой крупные (~1500 мкм) с неровными гранями зерна таблитчатого нефелина (Nph на рис. 4, а), отделенные друг от друга сравнительно тонкими прослойками мелкозернистого (~300 мкм) апатита (Ap) с вкраплениями пироксена (Cpx). Можно предположить, что при достижении крупного, твердого, имеющего неправильную форму нефелинового зерна распространяющаяся по апатиту трещина разрушения для своего дальнейшего распространения должна разрушить это зерно. Для этого необходимы большие энергетические затраты, что и

обеспечивает высокую крепость породы. В то же время при истирании металлического образца о такую породу зерна минералов высвобождаются медленно, поверхность контакта зашлифо-

ывается, что уменьшает скорость износа металла.

Во второй руде зерна нефелина находятся в виде отдельных скоплений, распределенных в апатитовой массе. Толщина слоя апатита между скоплениями гораздо больше, чем расстояние между зернами нефелина в первой руде, что облегчает распространение трещины разрушения по границам зерен апатита и снижает крепость породы. Большой разброс по величине Δt в экспериментальных данных может быть объяснен крайне неоднородным распределением в этой руде составляющих ее минералов. При трении образца по участку породы с преобладанием апатита потеря массы металла меньше, а с преобладанием нефелина – больше.

Руда три, как состоящая практически только из мелких (~800 мкм) правильной формы зерен апатита (Ap на рис. 4, в), легко разрушается по границам минеральных индивидов и, как следствие, имеет невысокую крепость. По этой причине при трении стального образца об эту породу обнажаются все новые и новые зерна апатита с шероховатой поверхностью, что способствует увеличению скорости истирания металла.

Таким образом, установленная в экспериментах практически одинаковая абразивная способность всех трех анализируемых видов руды, существенно различающихся по крепости, может найти объяснение в различиях их структуры. Эти же данные позволяют заключить, что крепость не является свойством, однозначно определяющим абразивность горных пород.

Необходимо отметить, что близкая абразивная способность всех видов испытанной руды совсем не означает, что при прохождении горным инструментом одной и той же длины выработки в каждой породе он износится на одну и ту же величину, поскольку

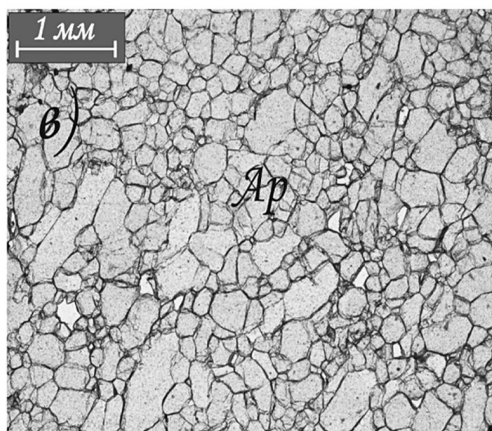
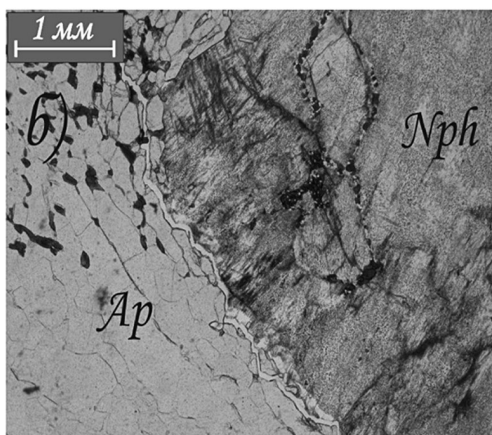
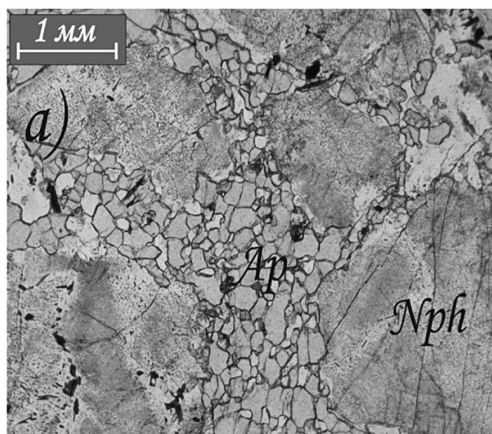


Рис. 4. Микроструктура образцов различных видов апатитовой руды: № 1 (а); № 2 (б); № 3 (в)

время, затраченное на это прохождение, будет различным.

1. Тененбаум М.М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании. – М.: Машиностроение, 1966. – 320 с.

2. Барон Л.И., Кузнецов А.В. Абразивность горных пород при добычании. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 168 с.

3. Шрейнер Л.А. Твердость хрупких тел. – М.: Изд-во АН СССР, 1949.

4. Бетехтин А.Г. Курс минералогии. – М.: Изд-во КДУ, 2007. – 461 с. **VIAS**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Болобов В.И. – доктор технических наук, профессор,
e-mail: Boloboff@mail.ru,

Бочков В.С. – аспирант, e-mail: vovabochkov@spmi.ru,

Чупин С.А. – аспирант, e-mail: Staseg-88@mail.ru,

Степанов С.Ю. – студент, e-mail: Stepanov-1@yandex.ru,

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

UDC 622.02

DEPENDENCE OF THE ABRASIVE PROPERTIES OF ROCKS FROM THEIR FORTRESSES

Bolobov V.I.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: Boloboff@mail.ru,

Bochkov V.S.¹, Graduate Student, e-mail: vovabochkov@spmi.ru,

Chupin S.A.¹, Graduate Student, e-mail: Staseg-88@mail.ru,

Stepanov S.Yu.¹, Student, e-mail: Stepanov-1@yandex.ru,

¹ National Mineral Resource University «University of Mines»,
199106, Saint-Petersburg, Russia.

The article describes the apatite-nepheline ores with varying strength. All these ores also have a different mineral composition, the individual elements of which differ in terms of hardness on the Mohs scale. The samples were tested 110G13L made of steel, as the most frequent material quickly wear parts of mining equipment. Fortress impact on the wear rate of ore samples is considered. Fortress is not a defining indicator of intensity of wear of metal pieces of equipment used in the mining industry was established.

Key words: apatite, nepheline, fortress rock, steel 110G13L, wear rate, abrasiveness of rocks.

REFERENCES

1. Tenenbaum M.M. *Iznosostoykost' konstruktsionnykh materialov i detaley mashin pri abrazivnom iznashivanii* (Wear resistance of structural materials and machine parts under abrasive wear), Moscow, Mashinostroenie, 1966, 320 p.

2. Baron L.I., Kuznetsov A.V. *Abrazivnost' gornykh porod pri dobyvanii* (Abrasive properties of rocks during extraction), Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1961, 168 p.

3. Shreyner L.A. *Tverdost' khrupkikh tel* (Hardness of brittle bodies), Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1949.

4. Betekhtin A.G. *Kurs mineralogii* (Course of mineralogy), Moscow, Izd-vo KDU, 2007, 461 p.

